

УДК 621.397:778.5:543.6

**КОЛОРИМЕТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НОВИХ
ВІДЕОЗАСТОСУВАНЬ: СПІВСТАВЛЕННЯ СИСТЕМ ЦИФРОВОГО
КІНЕМАТОГРАФА ТА ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ**

ГОФАЙЗЕН О.В., ПИЛЯВСЬКИЙ В.В.

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова
ДП "Український науково-дослідний інститут радіо та телебачення"

**COLORIMETRIC CHARACTERISTICS OF NEW
VIDEO APPLICATIONS: DIGITAL CINEMA AND DIGITAL
TELEVISION SYSTEMS MATCHING**

GOFÄIZEN O.V., PILYAVSKIY V.V.

Odessa National Academy of Telecommunications n.a. O.S. Popov
SE "Ukrainian Scientific-Research Institute of Radio and Television"

***Анотація** Наведено співставлення колориметричних характеристик систем цифрового кіно DCDM, великого екрану ACES та телебачення надвисокої чіткості UHDTV. Представлено оцінку області передаваних кольорів у колірному просторі XYZ, а також у рівноконтрастному просторі CAM02-UCS з урахуванням варіації рівнів яскравості деталей зображення та умов спостереження зображення.*

***Abstract** The comparison of the colorimetric characteristics of a digital cinema DCDM, LSDI systems ACES and UHDTV systems is presented. The estimation of the transmitted color gamut in the standard space XYZ, as well as in uniform color space CAM02-UCS with consideration of variation of image detail brightness levels and of viewing conditions*

ВСТУП

Технічний прогрес призвів до того, що стало можливо практично реалізувати новий рівень відеозастосувань, а саме, систем виробництва і відтворення сцен з числом елементів зображення, близьким до 2000×4000 (4k) та 4000×8000 (8k), зокрема, системи цифрового кіно DCDM [1–3], системи великого екрану (LSDI) ACES [4] (які можна використовувати для різних застосувань, в тому числі і для цифрового кіно), а також системи телебачення надвисокої чіткості UHDTV [5].

Всі ці системи розраховано на подальше підвищення якості зображень сцен, що їх передають та відтворюють. Серед цих характеристик колориметричні характеристики відносяться до числа найважливіших, оскільки вони визначають як області кольорів, які здатні передавати системи, так і можливість передавання й відтворення більш широкої множини кольорів, а більших яскравісних та колірних контрастів порівняно з традиційними системами.

У даній роботі публікуються відповідні оцінки, представлені в рівноконтрастному колірному просторі, що дозволяє судити про характеристики кольоропередавання з урахуванням властивостей зорової системи спостерігача відеоінформації.

INTRODUCTION

Technological progress has led to possibility of practical implementation of new level of video applications, namely, the systems of production and reproduction of scenes with a number of pixels close to 2000×4000 (4k) and 4000×8000 (8k), such as digital cinema system (DCDM) [1–3], LSDI system (ACES) [4] (which can be used for different applications as well as digital cinema), and ultra high definition television system (UHDTV) [5].

All these systems are designed to further improvement of transmitted and reproduced scenes image quality. Among these characteristics the colorimetric characteristics among to the number of most important ones, since they define colour gamut translatable by video applications and possibility for translation and reproduction more wide set of transmitted colours, and more luminance and chrominance contrasts comparatively with traditional systems.

In present work there are published correspondent evaluations, presented in uniform colour space. This allows to judge on colour rendering characteristics with consideration of possibilities of viewer of video scenes.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМ ЦИФРОВОГО КІНО І СИСТЕМ ТЕЛЕБАЧЕННЯ НАДВИСОКОЇ ЧІТКОСТІ

Серед систем цифрового кіно (телебачення DC) можна виділити два рівня систем, стандартизованих у світі:

- Системи DCDM, характеристики яких було визначено версією 1.0 специфікації DCI [1], на зміну якій було прийнято версію DCI 1.2 [2];
- системи DCDM, характеристики яких визначено стандартом SMPTE 2048-1.

У специфікації DCI [1] передбачено використання в якості основних кольорів системи цифрового кіно основних кольорів X,Y,Z колориметричної системи МКО-31. На виході системи зйомки одержують сигнали основних кольорів X,Y,Z, які безпосередньо характеризують рівні абсолютних кольорних координат у цій системі. Сигнал Y безпосередньо несе інформацію про яскравість деталей колірної сцени, інформацію про колірність яких несуть сигнали X, Z. У цій системі область кольорів, яку може бути передано, відповідає всім точкам у середині діаграми колірності для всіх рівнів яскравості. Таким чином, немає обмежень щодо передавання будь яких кольорів, які існують у природі.

Область кольорів, які може бути одержано в результаті відбиття світла від поверхні предметів (не самосвітних предметів) визначено тим, що чим більш насиченим є колір, тим більш вузькою є спектральна смуга відбитого світла і тому менше його яскравість. Виходить, що максимальну яскравість може бути досягнуто тільки на білому кольорі. Проте при цьому можливо також передавання кольорів самосвітних предметів, яскравість яких може перевищувати яскравість білого кольору, таким чином може бути досягнуто новий аспект реальності передавання натурних сцен, що є перевагою цього варіанта цифрового кіно. Можна вважати, що можливість зйомки та відтворення всіх кольорів надає нову можливість вільного вибору області передаваних кольорів.

Більш пізня версія стандарту на систему цифрового кіно визначає область кольорів, яка охоплює всю діаграму колірності і таким чином забезпечує можливість вільного вибору області відтворюваних кольорів для системи відтворення (FS-Gamut), але ця можливість є дещо обмеженою відносно першої версії цифрового кіно. Сигнали основних кольорів у цій системі вже не є кольорні координати системи X, Y, Z МКО-31, і тому має місце обмеження області передаваних кольорів зі збільшенням яскравості.

У стандарті SMPTE 2048-1 [3] визначено формати 4k та 8k зображень, в першу чергу для збирання і створення відеоконтенту цифрового

GENERAL DESCRIPTION OF DIGITAL CINEMA SYSTEMS AND UHDTV SYSTEMS

Among digital cinema (DC) systems there are two levels of systems standardized in the world:

- DCDM systems, characteristics of which were specified by version 1.0 of DCI specification [1], which was replaced by DCI specification version 1.2 [2];
- DCDM systems, characteristics of which are specified in the SMPTE 2048-1.

In DCI specification [1] the use of CIE-31 tristimulus values X,Y,Z as primary colour source digital cinema signals is specified. At the output of the scene capturing system the colour capturing signals X,Y,Z that directly characterize tristimulus values are provided. The signal Y directly carries information on colour scene details luminance, and the information on chromaticity is carried by X, Z signals. In this system transmitted colour gamut includes all the colour points inside the chromaticity diagram for all luminance levels. So there are no limitations for transmission of any real colours.

Colour gamut that can be obtained by reflection of light from the surfaces of objects (not self-luminous objects) is defined so that the more saturated is color the more narrow is spectral band of reflected light and therefore lower its brightness. It appears that maximum brightness can be achieved only on the white colour. But at the same time the system may also transfer color self-luminous objects whose brightness can exceed the brightness of white, thus a new dimension of reality transmission of natural scenes can be achieved, which is an advantage of this digital version of DC systems. It is believed that the ability to capture and playback all colors provides a new opportunity for free scale of reproducible colour gamut.

A more recent version of the standard for digital cinema system specifies the color gamut that covers the entire chromaticity diagram and thus provides the possibility of free choice of reproducible color gamut for reproduction system (FS-Gamut) but this feature is somewhat limited relative to the first version of digital cinema. Source colour primary signals used in this system are not the CIE-31 tristimulus values X,Y,Z and therefore there is a limit field transmitted color with increasing luminance.

SMPTE ST.2048-1 [3] defines 4k and 8k image formats primarily for D-Cinema content acquisition

кіно. Ці формати зображення також може бути використано для збирання та створення високоякісного контенту для інших цифрових відеозастосувань.

Цей стандарт встановлює формати, сумісні з форматами ТБВЧ, що відповідають ITU-R BT.709, і формати, що їх визначено системою координатосновних кольорів та координатами опорного білого для розширеної області передаваних кольорів (*FS-Gamut*), що її вільно визначають логарифмічною характеристикою передавання сигналів основних кольорів (*FS-Log*) і пакетом даних VANC (допоміжний код, який передають в інтервалі вертикального гасіння), який містить значення параметрів, визначених користувачем щодо колірному простору і логарифмічної характеристики.

Координати колірності основних кольорів та опорного білого за замовченням визначено у стандарті згідно з таблицею 1 для систем з областю передаваних кольорів *FS-Gamut*, яку можна задавати довільно.

and creation. These image formats may also be used for acquisition and creation of high quality content for other D-Cinema applications.

This standard specifies formats compatible with ITU-R BT.709 HDTV formats and formats defined with tristimulus values and reference white of Free Scale-Gamut (*FS-Gamut*), colour primary signals transmission *Free Scale-Log(FS-Log)* curve and VANC (Vertical Ancillary Code) packet which conveys the parameter values of user-defined color space and Log curve.

Default chromaticity coordinates of the primaries and reference white for *FS-Gamut* systems are defined in the standard in compliance with Table 1.

Таблиця 1 – Стандартизовані координати колірності
Table 1 – Specified chromaticity coordinates

Система	Основні кольори та опорний білий	Координати МКО-31	
		<i>x</i>	<i>y</i>
UHDTV	<i>R</i>	0,70800	0,29300
	<i>G</i>	0,17000	0,79700
	<i>B</i>	0,13100	0,04600
	<i>W</i>	0,31272	0,32903
DCDM (<i>FS-Gamut</i>)	<i>R</i> (<i>R_{FS}</i>)	0,73470	0,26530
	<i>G</i> (<i>G_{FS}</i>)	0,14000	0,86000
	<i>B</i> (<i>B_{FS}</i>)	0,10000	-0,02985
	<i>W</i>	0,31272	0,32903
ACES	<i>R</i>	0,73470	0,26530
	<i>G</i>	0,00000	1,00000
	<i>B</i>	0,00010	-0,07700
	<i>W</i>	0,32168	0,33767

По колірних координатах основних кольорів $R_{FS} G_{FS} B_{FS}$, що їх визначено за замовченням, або за колірними координатами основних кольорів $R_{user} G_{user} B_{user}$, що їх визначено користувачем, визначають рівні нелінійних компонентних сигналів основних кольорів $R'_{FS} G'_{FS} B'_{FS}$ або $R' G' B'$ у відповідності з логарифмічною шкалою *FS-Log*, що її вільно задають, визначеною формулами, представленими в табл. 2, де нелінійно перетворені колірні координати L' змінюються в межах $0 \leq L' \leq 1$, де L є лінійні колірні координати L_{linear} , що дорівнюють L_{FS} й L_{user} та $L = R, G, B$, помножені

From default specified tristimulus values $R_{FS} G_{FS} B_{FS}$ or user defined $R_{user} G_{user} B_{user}$ tristimulus values, three nonlinear primary components $R'_{FS} G'_{FS} B'_{FS}$ or $R' G' B'$ shall be calculated according to the *FS-Log* curve defined with equation in Table 2 – and if necessary – the upper and lower three coordinates defined in Table 2, where nonlinear primary components L' shall be $0 \leq L' \leq 1$, where L shall be a linear tristimulus value L_{linear} which equals L_{FS} or L_{user} and $L = R, G, B$, multiplied by a k_{exp} exposition factor.

на коефіцієнт експозиції k_{exp} .

Таблиця 2 – Визначення логарифмічної шкали FS-Log

Table 2 – Definition of FS-Log logarithmic scale

Exposure Range	Definition
$L_{C1} \leq L \leq L_{C3}$	$(L_{C1}, L'_{C1}), (L_{C2}, L'_{C2}), (L_{C3}, L'_{C3})$
$L_{B1} \leq L \leq L_{C1}$	$L' = \alpha \cdot \text{Log}_{10} \beta L + \delta + \varepsilon$
$L_{B3} \leq L \leq L_{B1}$	$(L_{B3}, L'_{B3}), (L_{B2}, L'_{B2}), (L_{B1}, L'_{B1})$

Координати колірності x, y основних кольорів $R_{\text{user}}, G_{\text{user}}, B_{\text{user}}$, координати опорного білого, значення параметрів $\alpha, \beta, \delta, \varepsilon, k_{\text{exp}}$ та параметри, що знаходяться нижче $L_{\text{min}}, L_{B1}, L'_{B1}, L_{B2}, L'_{B2}, L_{B3}, L'_{B3}$ та вище $L_{\text{max}}, L_{C1}, L'_{C1}, L_{C2}, L'_{C2}, L_{C3}, L'_{C3}$, передають в VANC пакеті.

Таким чином, передбачено вільний вибір характеристики перетворення світло-сигнал, яку визначають параметрами, що передають сумісно з сигналом контенту, та їх може бути використовувано для зворотного перетворення. Використання логарифмічної системи (FS-Log) дозволяє вільно редакційно перетворювати контраст передаваних сцен на етапі зйомки та у системі відтворення. З наведених рівнянь видно, що систему розраховано на діапазон яскравості зображення, який визначають через значення яскравості L_{min} на чорному та L_{max} на білому

Якщо обмежитися розгляданням лінійної характеристики логарифмічного перетворення світло-сигнал, то їй відповідає зворотня характеристика:

$$L = \frac{1}{\beta} 10^{\frac{L' - \varepsilon}{\alpha}} - \delta.$$

Таким чином, сигнал зображення, передаваний у системах цифрового кіно, може бути перетворено у сигнали RGB-компонентів і далі в сигнали системи цифрового телебачення.

У системі DCDM передбачено 12-розрядне представлення сигналів, які передають системою з 16-розрядним кодуванням з плаваючою точкою.

У версії 1.2 специфікації DCI [2], що охоплює всі аспекти побудови систем цифрового кіно, визначено, що систему може бути розраховано на реалізацію стандартів ICO/IEC, SMPTE, ANSI та інших світових стандартів, до числа яких стосуються два розглянуті вище стандарти.

У стандарті SMPTEST.2065-2 [4] представлено "Акалемічну специфікацію по кодуванню

The x, y chromaticity coordinates of $R_{\text{user}}, G_{\text{user}}, B_{\text{user}}$ primaries, reference white coordinates, parameter values of $\alpha, \beta, \delta, \varepsilon, k_{\text{exp}}$ and upper and lower coordinates of $L_{B1}, L'_{B1}, L_{B2}, L'_{B2}, L_{B3}, L'_{B3}$ and $L_{C1}, L'_{C1}, L_{C2}, L'_{C2}, L_{C3}, L'_{C3}$ are transmitted in VANC packet.

Thus provided free choice of conversion characteristic light-signal is determined by the parameters which transmit a signal compatible with content they can be used to play back in the devices. Using a logarithmic system (FS-Log) allows you to freely edit scenes Contra transmitted by shooting and playback system. The above equation shows the system is designed for a range of brightness that determines the brightness L_{min} on the black and L_{max} on the white.

If to limit linear conversion characteristic light-signal, it corresponds inverse characteristic:

Thus the image signal transmitted in digital cinema system can be converted to RGB signals and component signals of given digital TV system.

DCDM system provides 12 bit representation of signals transmitted in system with 16 bit floating point encoding.

In version 1.2 of DCI specification [5], covering all aspects of construction of digital cinema systems, it was determined that the systems should be designed to implement standards of ICO/IEC, SMPTE, ANSI and others, which include two described standards.

SMPTE ST.2065-2 [4] specifies the Academy

колірних зображень – Academy Color Encoding Specification” (ACES), в якій визначено характеристики цифрового кодування кольорового зображення, прийнятні як для сфотографованих зображень, так і для зображень, створених комп’ютером. Це загальний формат кодування кольірних зображень для академічної системи обміну зображеннями. У потоці даних зображення, сцени, знятої для театрального представлення, система ACES кодує дані зображення у формі, придатній для творчого оброблення.

Тип кольірного простору повинен відповідати колориметричному адитивному простору RGB. Тип кольірного простору ACES також можна розглядати як тип простору, залежного від вхідного пристрою, і як такий, що має бути пов’язаним із простором еталонного знімального пристрою (RICD).

Координати кольірності основних кольорів RGB еталонного знімального пристрою повинні відповідати табл. 1.

Допустимі значення кольірних компонент повинні бути в діапазоні $[-65504,0; 65504,0]$. Повний діапазон допустимих значень компонент кольору не повинен бути фіксованим за винятком необхідності отримання бажаного художнього задуму.

ACES масштабується так, щоб ідеальний відбивач розсіював меншу частку джерела світла значення ACES вибирають рівним 1,0. Сцен, що включають об’єкти з відблисками значень більше, ніж з ідеальним випромінювачем, з цього слідує, що значення ACES 1,0 значно вище ніж очікується.

КОЛОРИМЕТРИЧНА МЕТРИКА, ЩО ЇЇ ВИКОРИСТАНО

Нижче наведено проєкції області кольірностей, передаваних розглядуваними системами, представлені на площині координат кольоровості x, y системи МКО-31 і на площині координат кольірності a'_M, b'_M рівноконтрастного кольірного простору J', a'_M, b'_M , отриманого у вигляді запропонованої Люо та ін. [6] трансформації кольірного простору J, a_M, b_M системи CIECAM02 [7], що є найбільш досконалою моделлю кольоросприйняття в даний час [8]. Тут $J, a_M = M \cdot \cos h$, $J, b_M = M \cdot \sin h$ – координати світлоти і кольірності; M – рівень відчуття кольірності; h – кутова координата – показник кольірного тону. Криві побудовано для певних рівнів відносної яскравості $Y \in \overline{0,1}$ для рівнів адаптації $L_A = 0,2 \cdot L_W$, де L_W – максимальна яскравість на білому в кд/м^2 .

ОБЛАСТЬ КОЛІРНОСТЕЙ, ЩО ЇЇ

Color Encoding Specification (ACES) which defines a digital color image encoding appropriate for both photographed and computer-generated images. It is the common color encoding for the Academy Image Interchange Framework. In the flow of image data from scene capture to theatrical presentation, ACES data encode imagery in a form suitable for creative manipulation.

The color space type shall be colorimetric: additive RGB. The ACES color space type can also be considered to be of the type input-device-dependent and as such has an associated reference image capture device (RICD).

The RGB primaries chromaticity values shall be those found in Table 1.

The valid color component value range shall be $[-65504.0, +65504.0]$. The full range of valid color component values should not be clamped except as needed to produce a desired artistic intent.

ACES is scaled such that a perfect reflecting diffuser under a particular illuminant produce ACES values of 1.0. Many scenes include objects with radiance values greater than that of a perfect reflecting diffuser hence ACES values well above 1.0 are expected.

COLORIMETRIC METRIC USED

Below the projections of the Area of chromaticities, which can be transmitted by systems under consideration, are presented on the CIE-31 tristimulus values plane of and on the plane the chromaticity coordinates a'_M, b'_M of CAM02-UCS color space J', a'_M, b'_M obtained with use of proposed by Luo et al. [6] transformation of color space J, a_M, b_M of CIECAM02 [7], which is the most perfect colour appearance model at present time [8]. Here J – lightness; $J, a_M = M \cdot \cos h$, $J, b_M = M \cdot \sin h$ – chroma Cartesian coordinates, M – colorfulness, h – hue angle. The curves were constructed for relative luminance values, $Y \in \overline{0,1}$, for adaptation level $L_A = 0,2 L_W$, where L_W – the maximum brightness of reference white in cd/m^2 .

COLOUR GAMUT, TRANSMITTED BY DCDM SYSTEM

ПЕРЕДАЄ СИСТЕМА DCDM

На рис. 1 наведено трикутник основних кольорів системи DCDM у зіставленні з трикутником основних кольорів системи UHDTV. Основні кольори B і G трикутника системи DCDM обрано за межами діаграми колірності, а колір R вибрано так, що він відображається співпадаючим з граничною точкою монохроматичного червоного кольору. Площа трикутника системи DCDM перевищує площу трикутника системи UHDTV.

На рис. 2 представлено проекції області передаваних кольоростей у системі DCDM на площину координат системи МКО-31, з якої видно, що при відносних яскравостях деталей сцени, менших 0,25, у системі DCDM передається більша частина площі діаграми колірності.

Слід мати на увазі, що оцінки в системі МКО-31 є умовними, оскільки вона не є рівноконтрастною.

На рис. 3–7 представлено проекції області передаваних кольорів у системі DCDM на площину координат колірності a'_M, b'_M рівноконтрастного колірного простору J', a'_M, b'_M . Оскільки цей простір є рівноконтрастним, представлені на рис. 3–7 криві характеризують область передаваних кольорів з урахуванням характеристик зорового сприйняття, і в цьому сенсі відповідні оцінки області переданих кольорів можуть служити мірою колірної охопту для оцінюваної системи. Проекції представлено для рівнів відносної яскравості 0,05; 0,25; 0,5; 0,7; 0,9 і для рівнів яскравості білого кольору, що дорівнюють 100, 250 і 1000 кд/м², що відповідає яскравості адаптації зорової системи спостерігача відповідно 20, 50 і 200 кд/м². Таким чином, звідси видно вплив яскравості деталей зображення на реальний колірний охопту.

Більш повну кількісну інтерпретацію представлених даних надано в табл. 2–4. У таблицях позначено: S_{CD} – площа діаграми колірностей на площині координат a'_M, b'_M для заданої відносної яскравості, S_{CG} – площа області передаваних кольоростей для заданої відносної яскравості.

Figure 1 shows primaries triangle of DCDM system compared with primaries triangle of UHDTV system. The point of B and G primaries of the DCDM triangle are placed outside the chromaticity diagram, the point of primary R is selected so that it matches the chromaticity diagram boundary point of monochromatic red. So, area of a triangle of DCDM exceeds the area of the triangle of UHDTV.

Figure 2 shows the projections of area of transmitted in DCDM system colours on CIE-31 tristimulus values plane. It is seen that for relative brightness of scene details less than 0.25, the major portion of chromaticity diagram area is transmitted in DCDM system.

It should be kept in mind that the evaluations in CIE-31 system are conditional as it is not uniform.

Figure 3–7 present projections of the transmitted colours area in DCDM system on the plane of chroma Cartesian coordinates a'_M, b'_M of J', a'_M, b'_M uniform colour space. Since this space is uniform, presented in Figures 3–7 curves characterize the area of transmitted colors with consideration of visual perception characteristics, and in this sense the corresponding estimates of area of transmitted colors can serve as a measure for evaluating the color gamut of the system. The projections are presented for the relative luminance levels of 0.05, 0.25, 0.5, 0.7, 0.9 and brightness levels on white of 100, 250 and 1000 cd/m², which correspond to the brightness of the adaptation of the visual system of the observer respectively equal to 20, 50 and 200 cd/m². So it shows the influence of the maximum brightness of the white on the actual color gamut.

A more complete quantitative interpretation of the data is given in Tables 2–4. The tables marked with: S_{CD} – the area on the chromaticity diagram of the plane of coordinates a'_M, b'_M for a given relative brightness; S_{CG} – the area of transmitted chromaticities for a given relative brightness.

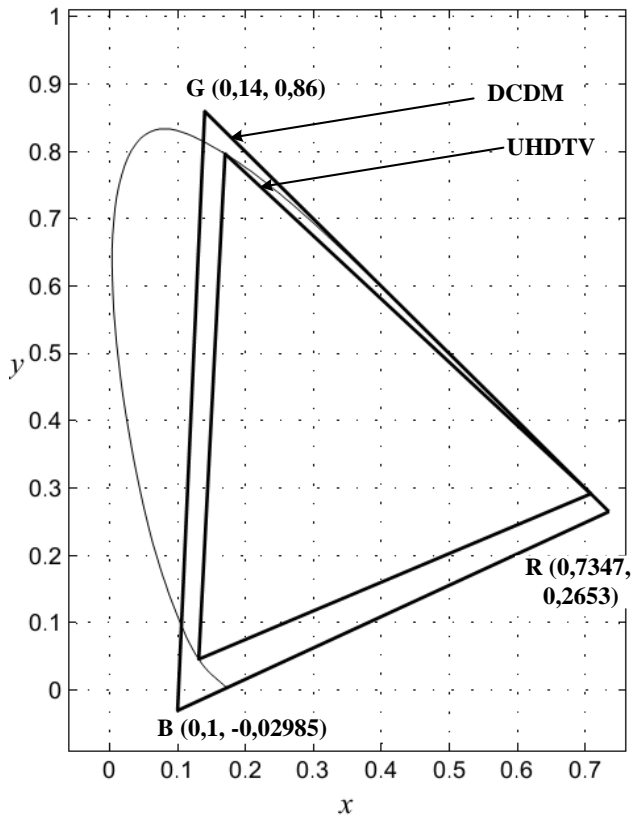


Рисунок 1 – Трикутник основних кольорів систем DCDM та UHDTV у системі координат МКО-31
 Figure 1 – Primaries triangle of DCDM and UHDTV systems on the CIE-31 chromaticity diagram plane

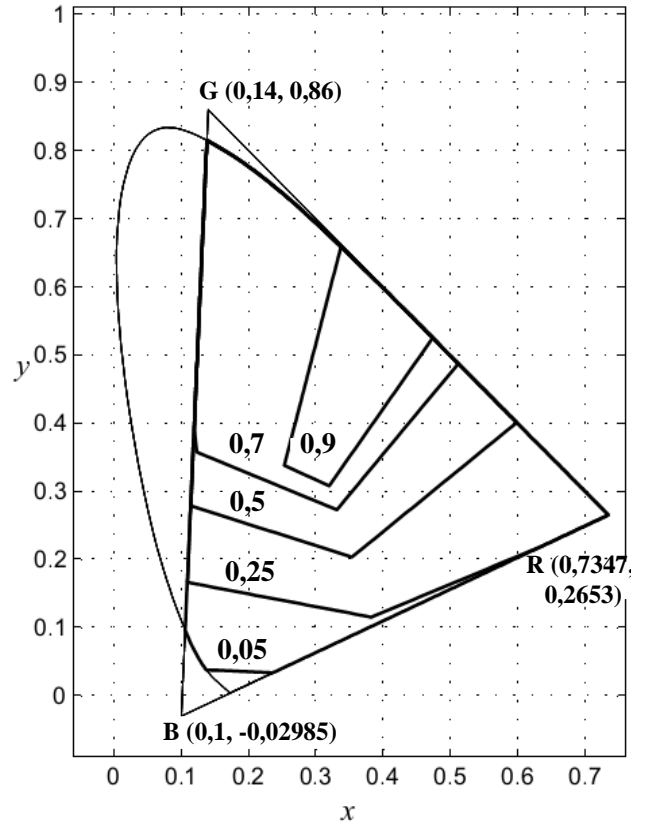


Рисунок 2 – Область колірностей, які може бути передано системою DCDM, у системі координат МКО-31
 Figure 2 – Colour gamut of DCDM system on the CIE-31 chromaticity diagram plane

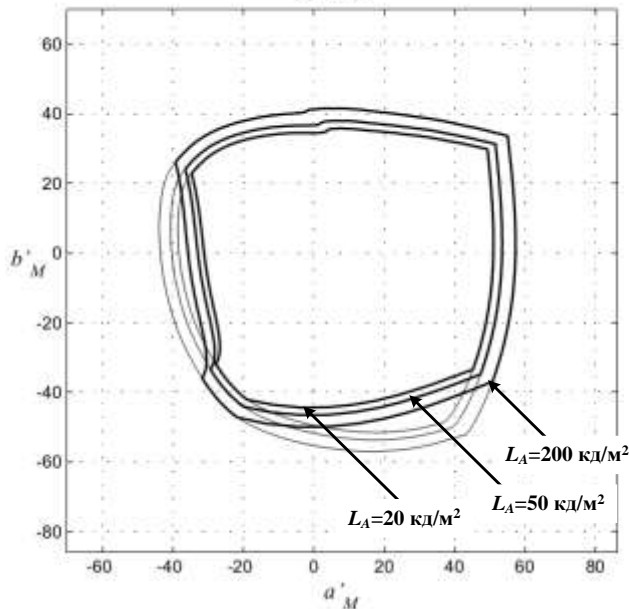


Рисунок 3 – Область колірностей, передаваних системою DCDM, для $Y = 0,05$, представлена у координатах a'_M, b'_M

Figure 3 – Colour gamut, transmitted by DCDM system for $Y = 0,05$, presented on the plane of a'_M, b'_M

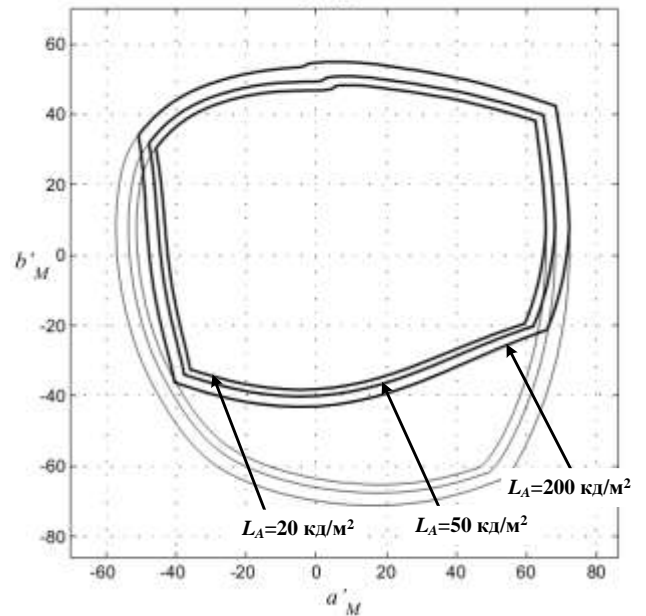


Рисунок 4 - Область колірностей, передаваних системою DCDM, для $Y = 0,25$, представлена у координатах a'_M, b'_M

Figure 4 – Colour gamut, transmitted by DCDM system for $Y = 0,25$, presented on the plane of a'_M, b'_M

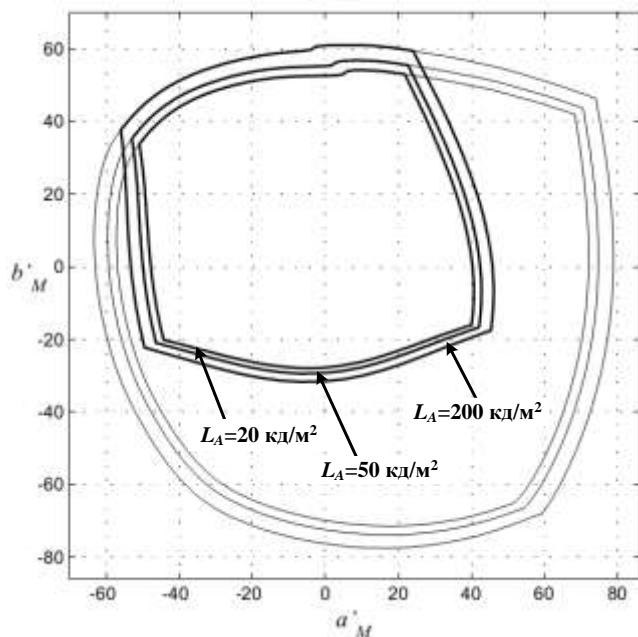


Рисунок 5 - Область колірностей, передаваних системою DCDM, для $Y = 0,5$, представлена в координатах a'_M, b'_M

Figure 5 – Colour gamut, transmitted by DCDM system for $Y = 0,5$, presented on the plane of a'_M, b'_M

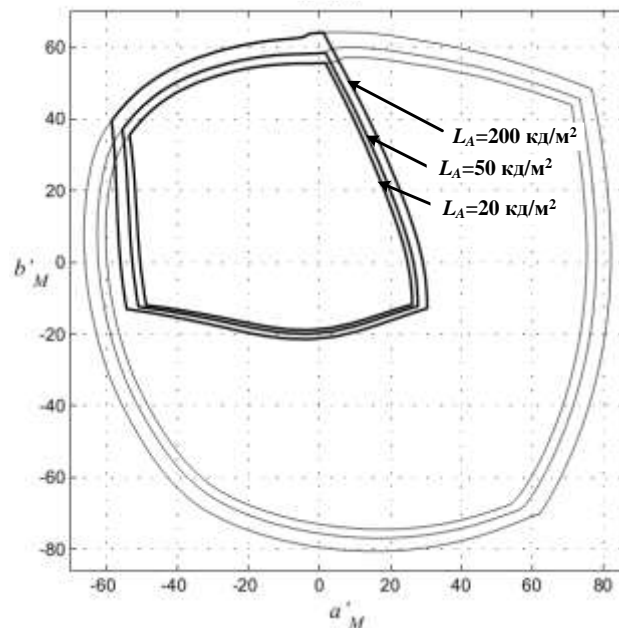


Рисунок 6 - Область колірностей, передаваних системою DCDM, для $Y = 0,7$, представлена в координатах a'_M, b'_M

Figure 6 – Colour gamut, transmitted by DCDM system for $Y = 0,7$, presented on the plane of a'_M, b'_M

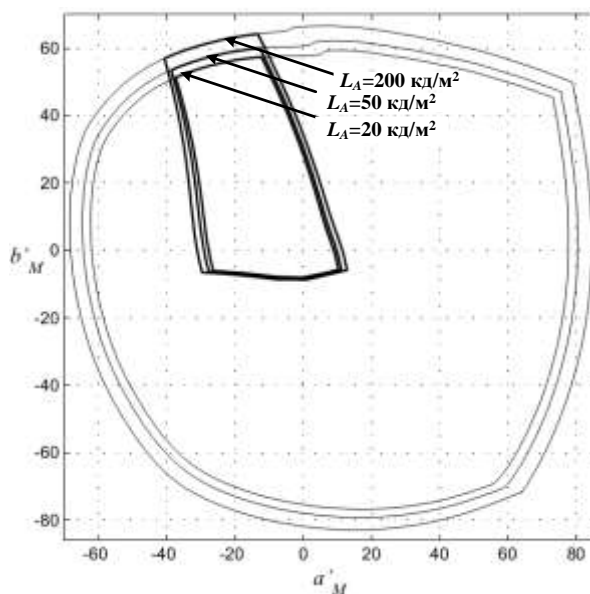


Рисунок 7 - Область колірностей, передаваних системою DCDM, для $Y = 0,9$, представлена в координатах a'_M, b'_M

Figure 7 – Colour gamut, transmitted by DCDM system for $Y = 0,9$, presented on the plane of a'_M, b'_M

Таблиця 2 -Оцінки області колірностей, що їх може бути передано системою DCDM

Table 2 – Evaluations of colour gamut that can be transmitted by DCDM system

	$L_A = 20$		$L_A = 50$		$L_A = 200$	
	S_{CD}	S_{CG}	S_{CD}	S_{CG}	S_{CD}	S_{CG}
$Y = 0,05$						
Оцінка площі (assessment square)	6641,3	5584,1	7322,5	6506,6	8450,5	7543,4
$S_{CD}/S_{CG} \cdot 100\%$		88,59		88,85		89,27
$Y = 0,25$						
Оцінка площі (assessment square)	11184	8045,1	12156	8803,5	13736	10047
$S_{CD}/S_{CG} \cdot 100\%$		71,93		72,42		73,14
$Y = 0,5$						
Оцінка площі (assessment square)	13664	6191	14768	6797,8	16547	7798,4
$S_{CD}/S_{CG} \cdot 100\%$		45,3		46,03		47,12
$Y = 0,7$						
Оцінка площі (assessment square)	14985	4636,5	16152	5087,2	18027	5838
$S_{CD}/S_{CG} \cdot 100\%$		30,94		31,49		32,38
$Y = 0,9$						
Оцінка площі (assessment square)	16022	2017,7	17236	2218,1	19180	2547,9
$S_{CD}/S_{CG} \cdot 100\%$		12,59		12,87		13,29

ОБЛАСТЬ КОЛІРНОСТЕЙ, ЩО ПЕРЕДАЮТЬСЯ СИСТЕМОЮ ACES

На рис. 8 представлений трикутник основних кольорів системи ACES в зіставленні з трикутником основних кольорів системи UHDTV. Основні кольори R, G, B трикутника вибрані у системі ACES за межами діаграми колірності таким чином, що він охоплює усю діаграму колірності, внаслідок чого площа трикутника системи ACES перевищує площу трикутника систем DCDM і UHDTV.

На рис. 9 представлені проекції області передаваних кольорів у системі ACES на площину координат системи МКО-31. Область передаваних кольорів охоплює значно більшу частину діаграми колірності, ніж в інших системах. Це стосується, передусім, зелених, пурпурних і жовтих кольорів.

На рис. 10–14 представлені проекції області передаваних кольорів у системі ACES на площину координат колірності a'_M, b'_M рівноконтрастного колірного простору J', a'_M, b'_M . Проекції представлено для рівнів відносної яскравості 0,05; 0,25; 0,5; 0,7; 0,9 і для рівнів яскравості білого, рівних 100, 250 і 1000 кд/м², що відповідає яскравості адаптації зорової системи спостерігача 20, 50 і 200 кд/м².

Більш повну кількісну інтерпретацію представлених даних надано в табл. 3.

COLOUR GAMUT, TRANSMITTED BY THE ACES SYSTEM

Figure 8 shows primaries triangle of ACES system compared with primaries triangle of UHDTV system. The points of R,G,B primaries of the ACES triangle are placed outside the chromaticity diagram. So all the chromaticity diagram is inside the triangle, and area of ACES triangle is more than area of triangles of DCDM and UHDTV systems.

Figure 9 shows the projections of area of transmitted in ACES system chromaticities on CIE-31 tristimulus values plane. The field of transmitted colours covers much greater part of the chromaticity diagram than in other systems. This applies, first of all, to green, purple and yellow colours.

Figure 10–14 present projections of the transmitted colours area in ACES system on the plane of chroma Cartesian coordinates a'_M, b'_M of J', a'_M, b'_M uniform colour space. The projections are presented for the relative luminance levels of 0.05, 0.25, 0.5, 0.7, 0.9 and brightness levels on white of 100, 250 and 1000cd/m², which correspond to the brightness of the adaptation of the visual system of the observer respectively 20, 50 and 200 cd/m².

A more complete quantitative interpretation of the data is given in Table 3.

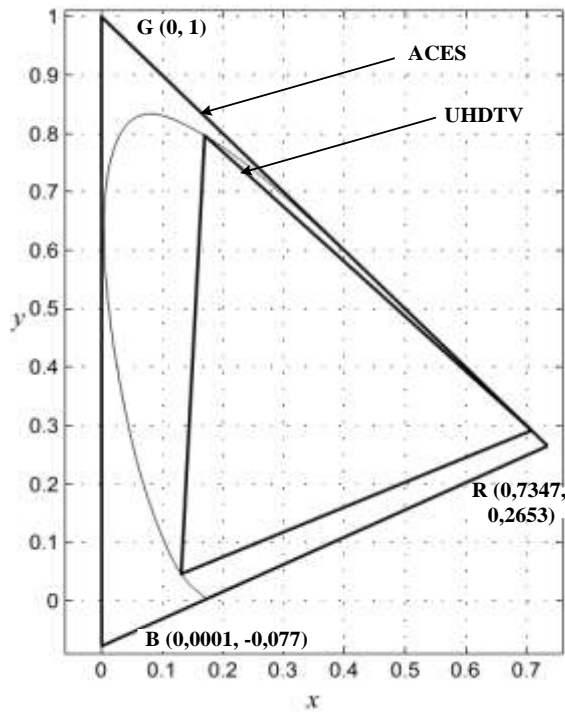


Рисунок 8 – Трикутник основних кольорів систем ACES та UHDTV у системі координат МКО-31
 Figure 8 – Primaries triangle of ACES and UHDTV systems on the CIE-31 chromaticity diagram plane

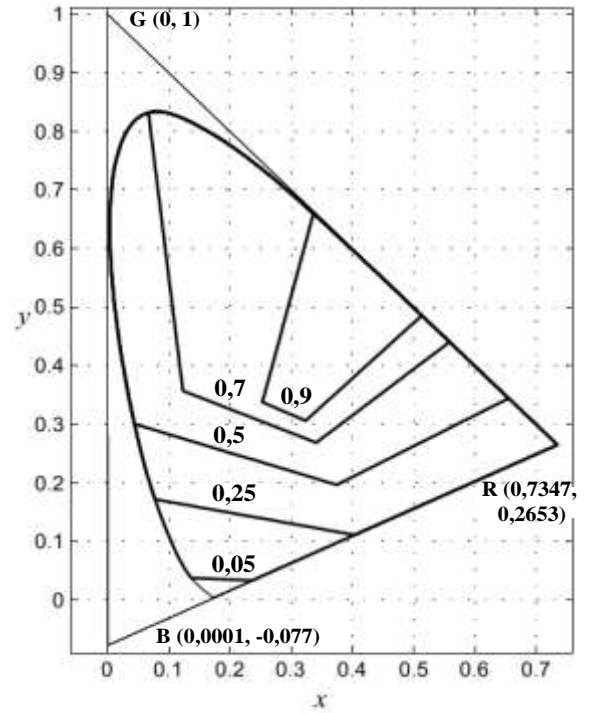


Рисунок 9 – Область колірностей, що можуть передаватися системою ACES, у системі координат МКО-31
 Figure 9 – Colour gamut of ACES system on the CIE-31 chromaticity diagram plane

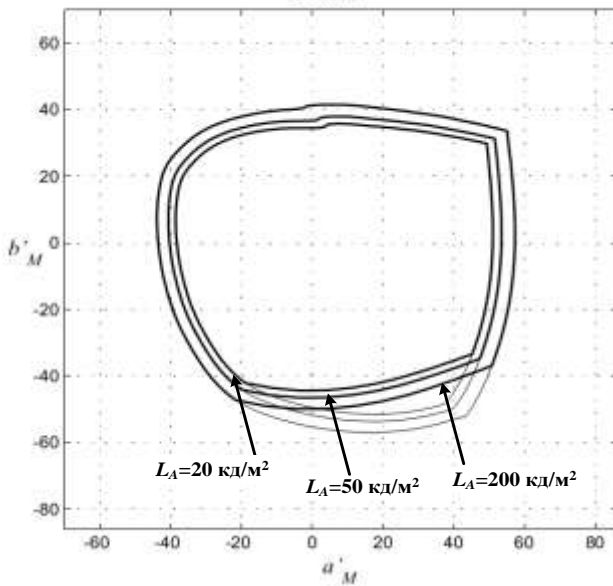


Рисунок 10 – Область колірностей, що передаються системою ACES, для $Y = 0,05$, представлена в координатах a'_M, b'_M
 Figure 10 – Colour gamut, transmitted by ACES system for $Y = 0,05$, presented on the plane of a'_M, b'_M

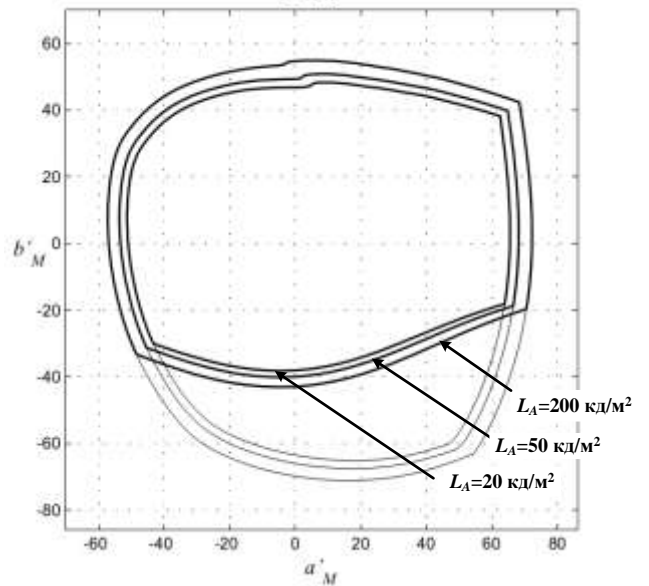


Рисунок 11 – Область колірностей, що передаються системою ACES, для $Y = 0,25$, представлена в координатах a'_M, b'_M
 Figure 11 – Colour gamut, transmitted by ACES system for $Y = 0,25$, presented on the plane of a'_M, b'_M

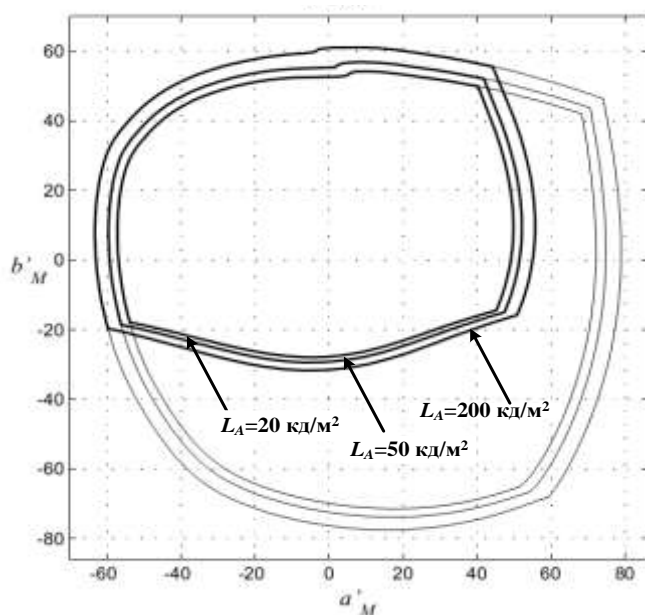


Рисунок 12 – Область колірностей, що передаються системою ACES, для $Y=0,5$, представлена в координатах a'_M, b'_M

Figure 12 – Colour gamut, transmitted by ACES system for $Y=0,7$, presented on the plane of a'_M, b'_M

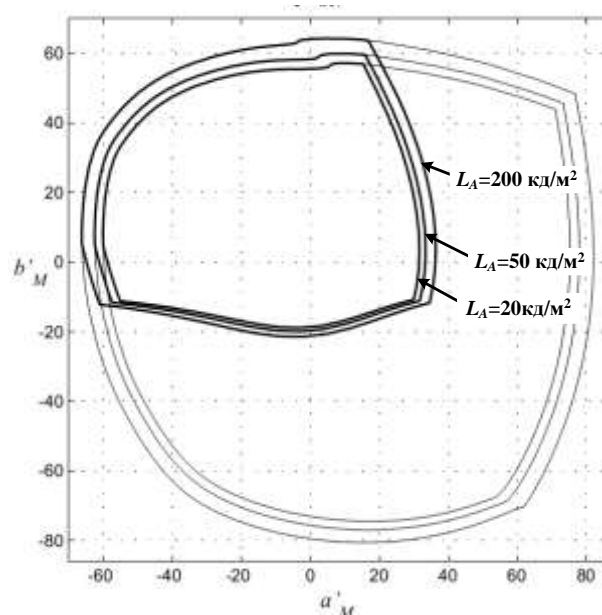


Рисунок 13 – Область колірностей, що передаються системою ACES, для $Y=0,7$, представлена в координатах a'_M, b'_M

Figure 13 – Colour gamut, transmitted by ACES system for $Y=0,7$, presented on the plane of a'_M, b'_M

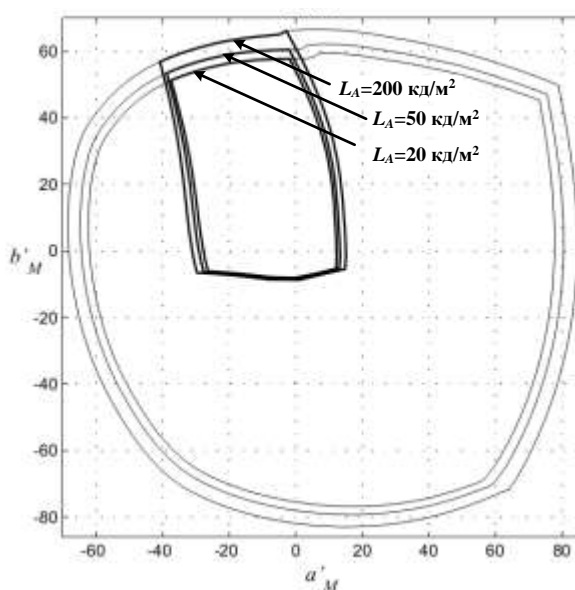


Рисунок 14 – Область колірностей, що передаються системою ACES, для $Y=0,9$, представлена в координатах a'_M, b'_M

Figure 14 – Colour gamut, transmitted by ACES system for $Y=0,9$, presented on the plane of a'_M, b'_M

Таблиця 3– Оцінка області колірностей, що може бути передано системою ACES

Table 3 – Evaluations of the colour gamut, that can be transmitted by ACES system

	$L_A = 20$		$L_A = 50$		$L_A = 200$	
	S_{CD}	S_{CG}	S_{CD}	S_{CG}	S_{CD}	S_{CG}
$Y = 0,05$						
Оцінка площі (assessment square)	6641,3	6190,3	7322,5	6842,3	8450,5	7927,7
$S_{CD}/S_{CG} \cdot 100 \%$		93,2		93,44		93,81
$Y = 0,25$						
Оцінка площі (assessment square)	11184	8535,7	12156	9331,4	13156	10635
$S_{CD}/S_{CG} \cdot 100 \%$		76,32		76,76		77,43
$Y = 0,5$						
Оцінка площі (assessment square)	13664	7402,3	14768	8095,7	16547	9231,6
$S_{CD}/S_{CG} \cdot 100 \%$		54,17		54,82		55,78
$Y = 0,7$						
Оцінка площі (assessment square)	14985	5695,4	16152	6234,6	18027	7121,2
$S_{CD}/S_{CG} \cdot 100 \%$		38		38,6		39,5
$Y = 0,9$						
Оцінка площі (assessment square)	16022	2536,2	17236	2784,3	19180	3193,6
$S_{CD}/S_{CG} \cdot 100 \%$		15,83		16,15		16,65

ЗІСТАВЛЕННЯ ОБЛАСТІ КОЛІРНОСТІ, ПЕРЕДАВАНОЇ СИСТЕМАМИ ЦИФРОВОГО КІНЕМАТОГРАФА DCDM І ACES, З ОБЛАСТЮ КОЛІРНОСТІ, ПЕРЕДАВАНОЮ СИСТЕМОЮ UHDTV

У табл. 4 наведено оцінки області колірності, які можуть бути передані системою UHDTV, реалізованої відповідно до Рекомендації ITU-R BT.2020.

У табл. 5 наведені подібні оцінки, але для гіпотетичного варіанта реалізації системи UHDTV, в якій рівні основних кольорів R,G,B можуть приймати значення в інтервалі $[-0,25; 1,33]$, у відповідності з Рекомендацією ITU-R BT.1361.

У табл. 4, 5 на основі цих даних представлено зіставлення розміру області передаваних кольорів для систем DCDM, ACES і двох зазначених варіантів реалізації системи UHDTV.

COMPARISON OF AREAS OF CHROMATICITIES, WHICH CAN BE TRANSMITTED BY DIGITAL SYSTEMS DCDM AND ACES, WITH COLOUR GAMUT, WHICH CAN BE TRANSMITTED BY UHDTV SYSTEM

The evaluations of colour gamut of UHDTV system realized in compliance with Recommendation ITU-R BT.2020, are presented in the Table 4.

Similar evaluations of colour gamut of hypothetic variant of UHDTV system in which levels of R,G,B primary signals can change in the interval $[-0,25; 1,33]$ in compliance with Recommendation ITU-R BT.1361, are presented in the Table 5.

On the basis of data presented for systems DCDM and ACES and of data of Tables 4, 5 there is presented in the Table 6 matching of colour gamut of this systems in comparison with colour gamut of UHDTV. system.

Таблиця 4 – Оцінки площі області колірності, які можуть передаватися системою UHDTV для варіанта реалізації, за якого сигнали основних кольорів приймають значення між рівнями 0 і 1 (див. Рекомендацію ITU-R BT.2020)

Table 4 – The evaluation of the field of chromaticities which can be transmitted by UHDTV system realized in compliance with Recommendation ITU-R BT.2020 (levels of R,G,B primary signals can change in the interval $\overline{0; 1}$)

	$L_A = 20$		$L_A = 50$		$L_A = 200$	
	S_{CD}	S_{CG}	S_{CD}	S_{CG}	S_{CD}	S_{CG}
$Y = 0,05$						
Оцінка площі (assessment square)	6641	4209	7322	4685	8450	5478
$S_{CD}/S_{CG} \cdot 100\%$		63,4		64		64,9
$Y = 0,25$						
Оцінка площі (assessment square)	11184	6593	12156	7241	13736	8299
$S_{CD}/S_{CG} \cdot 100\%$		58,9		59,6		60,4
$Y = 0,5$						
Оцінка площі (assessment square)	13664	5219	14768	5742	16547	6603
$S_{CD}/S_{CG} \cdot 100\%$		38,2		38,9		39,9
$Y = 0,7$						
Оцінка площі (assessment square)	14985	3843	16152	4230	18027	4868
$S_{CD}/S_{CG} \cdot 100\%$		25,7		26,2		27
$Y = 0,9$						
Оцінка площі (assessment square)	16022	1011	17236	1125	19180	1312
$S_{CD}/S_{CG} \cdot 100\%$		6,3		6,5		6,9

Таблиця 5 – Оцінки площі області колірності, які можуть передаватися системою UHDTV для варіанта реалізації, за якого сигнали основних кольорів приймають значення між рівнями $-0,25$ і $1,33$ (див. Рекомендацію ITU-R BT.1368)

Table 5 – The evaluation of the field of chromaticities which can be transmitted by hypothetical variant of UHDTV system in which levels of R,G,B primary signals can change in the interval $\overline{-0,25; 1,33}$ in compliance with Recommendation ITU-R BT.1361

	$L_A = 20$		$L_A = 50$		$L_A = 200$	
	S_{CD}	S_{CG}	S_{CD}	S_{CG}	S_{CD}	S_{CG}
$Y = 0,05$						
Оцінка площі (assessment square)	6641	6310	7322	6971	8450	8071
$S_{CD}/S_{CG} \cdot 100\%$		95		95,2		95,5
$Y = 0,25$						
Оцінка площі (assessment square)	11184	8986	12156	9816	13736	11176
$S_{CD}/S_{CG} \cdot 100\%$		80,4		80,8		81,4
$Y = 0,5$						
Оцінка площі (assessment square)	13664	7889	14768	8628	16547	9839
$S_{CD}/S_{CG} \cdot 100\%$		57,8		58,4		59,5
$Y = 0,7$						
Оцінка площі (assessment square)	14985	6501	16152	7120	18027	8137
$S_{CD}/S_{CG} \cdot 100\%$		43,4		44,1		45,1
$Y = 0,9$						
Оцінка площі (assessment square)	16022	5011	17236	5487,2	19180	6274
$S_{CD}/S_{CG} \cdot 100\%$		31,3		31,9		32,7

Таблиця 6 – Порівняльна оцінка долі діаграми колірності, що характеризує відносний розмір областей колірності, передаваних системами DCDM, ACES та UHDTV

Table 6 – Comparative evaluation of DCDM, ACES and UHDTV colour gamut (portion of area of chromaticity diagram, which can be transmitted for given Y)

Y	Система (Systems)	$L_A = 20 \text{ кд/м}^2$ ($L_W = 100 \text{ кд/м}^2$)	$L_A = 50 \text{ кд/м}^2$ ($L_W = 250 \text{ кд/м}^2$)	$L_A = 200 \text{ кд/м}^2$ ($L_W = 1000 \text{ кд/м}^2$)
0,05	DCDM	88,6	88,8	89,3
	ACES	93,2	93,4	93,8
	UHDTV	63,4	64,0	64,9
	UHDTV(-0,25, 1,33)	95,0	95,2	95,5
0,25	DCDM	71,9	72,4	73,1
	ACES	76,3	76,8	77,4
	UHDTV	58,9	59,6	60,4
	UHDTV(-0,25, 1,33)	80,3	80,7	81,4
0,5	DCDM	45,3	46,0	47,1
	ACES	54,2	54,8	55,8
	UHDTV	38,2	38,9	39,9
	UHDTV(-0,25, 1,33)	57,7	58,4	59,5
0,7	DCDM	30,9	31,5	32,4
	ACES	38	38,6	39,5
	UHDTV	25,6	26,2	27,0
	UHDTV(-0,25, 1,33)	43,4	44,1	45,1
0,9	DCDM	12,6	12,9	13,3
	ACES	15,8	16,1	16,6
	UHDTV	6,3	6,5	6,8
	UHDTV(-0,25, 1,33)	31,3	31,8	32,7

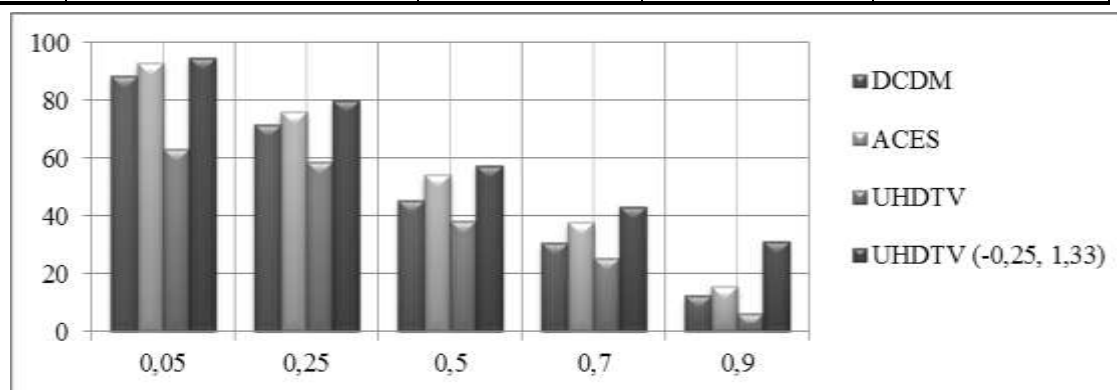


Рисунок 15 – Порівняння області передаваних кольорів різними системами, у відсотковому відношенні

Figure 15 – Comparative square of transmitted color of different systems in percentage ratio

ВИСНОВКИ

Отже, зі збільшенням яскравості зображення область кольорів, що може бути передано системами цифрового телебачення та системами цифрового кіно, змінюється, див. рис. 2, 9, 3 – 7 та 10 – 14.

Було проведено дослідження та надано об'єктивні оцінки, щодо області передаваних кольорів, таблиця 6, та зроблено висновок, що сис-

CONCLUSION

Thus, with increasing brightness region color what could be transferred to the digital television and digital cinema systems, changes, see. Figure 2, 9, 3–7 and 10–14.

A study was conducted and provided objective assessment on the field transmitted color table 6, and

темою ACES передається більша область кольорів по відношенню до систем DCDM та UHDTV. Наприклад, для яскравості $Y = 0,5$ та яскравості адаптації $L_A = 50$ кд/м² область кольорів переданих максимальна для системи ACES і рівна 54,8 % від загальної площі локуса.

Що стосується перспективних систем, то було проаналізовано систему телебачення UHDTV з від'ємними рівнями сигналів і зроблено висновки, що дана система передає найбільшу область кольорів, що можна побачити з табл. 6 та рис. 15

concluded that the system ACES transmitted large areas of color in relation to systems DCDM and UHDTV. For example, $Y = 0,5$ brightness and brightness adaptation $L_A = 50$ cd/m² color area transmitted to the maximum of ACES equal to 54.8% of the total area of the locus.

Regarding perspective of a television system was analyzed UHDTV with negative signal levels and done, that the system transmits most areas of color that can be seen from Table 6 and Figure 15

ЛІТЕРАТУРА

- 1 SMPTE ST 2048-1:2011 2048 × 1080 and 4096 × 2160 Digital Cinematography Production Image Formats FS/709.
- 2 Digital Cinema System Specification Version 1.0 with Errata as of 11 July 2007 Incorporated.– Digital Cinema Initiatives, LLC, Member Representatives Committee.
- 3 Digital Cinema System Specification Version 1.2 with Errata as of 30 August 2012 Incorporated.– Approved 10 October 2012.–Digital Cinema Initiatives, LLC, Member Representatives Committee
- 4 SMPTE ST 2065-1:2012 Academy Color Encoding Specification (ACES).
- 5 Recommendation ITU-R BT.2020:2012 Parameter values for ultra-high definition television systems for production and international programme exchange.
- 6 M, Ronnier Luo, Guihua Cui, Changjun Li Uniform Colour Spaces based on CIECAM02 Colour Appearance Model – Colour Research and Application. – Volume 31. – Issue 4. – May 2005.
- 7 CIE 159:2004 Technical Report. A Colour Appearance Model for Colour Management Systems: CIECAM02.
- 8 M.D.Fairchild Color appearance models John Wiley & Sons, 2005, – 408 p.